

Jussi Selkee

EPÄORGAANISEN SIDEAINEEN KÄYTTÖÖNOTTO ORAS
OY:N MESSINKIVALIMOSSA

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
2012

EPÄORGAANISEN SIDEAINEEN KÄYTTÖÖNOTTO ORAS OY:N MESSINKIVALIMOSSA

Selkee, Jussi
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2012
Ohjaaja: Santanen, Teemu
Sivumäärä: 46

Asiasanat: keerna, sideaine, hiekka, tuotanto

Tämä opinnäytetyö tehtiin Oras Oy:lle. Työn tarkoituksena oli löytää Oras Oy:n messinkivalimoon keernanvalmistusprosessiin uusi epäorgaaninen sideaineseos, joka korvaisi tulevaisuudessa nykyisin käytössä olevan orgaanisen sideaineen.

Uuden sideaineseoksen löytämiseksi lähdettiin kilpailuttamaan kolmen eri yrityksen, Hüttenes-Albertuksen, AWB:n ja ASK Chemicalsin tarjoamia sideaineita. Tavoitteena oli testauksen kautta löytää, minkä yrityksen sideaine toimisi laadullisesti parhaiten keernanvalmistuksessa sekä olisi taloudellisesta näkökulmasta katsoen kannattava vaihtoehto. Lisäksi työssä perehdyttiin siihen, mitä muutoksia tuotantoon sekä keernatykeille joudutaan tekemään, jotta siirtyminen epäorgaaniseen keernantuotantoon olisi mahdollista.

Päätavoitteet uudelle sideaineelle olivat valu- sekä keernanlaadun parantaminen, tuotannon tehokkuuden kasvattaminen sekä sideaineen hajuttomuus sekä myrkyttömyys. Näiden lisäksi valosten puhdistettavuuden helppous oli yksi tärkeimmistä ominaisuuksista uudelle sideaineelle.

Työn tuloksena saatiin selvitettyä jokaisen sideainetarjoajan tuotteiden toimivuus Oraksen tuotannossa ja se, miten kustannukset jakautuisivat siirryttäessä epäorgaaniseen keernantuotantoon.

COMISSIONING OF ANORGANIC BINDER IN BRASS FOUNDRY OF ORAS LTD.

Selkee, Jussi

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

April 2012

Supervisor: Santanen, Teemu

Number of pages: 46

Keywords: core, binder, sand, production

This engineering project was made to Oras Ltd. The purpose of thesis was to find a new anorganic binder to core production in the brass foundry of Oras Ltd. The anorganic binder will be replaced the organic binder that is in used today.

To find a new binder mixture, three companies which Oras was choosed, Hüttenes-Albertus, AWB and ASK Chemicals, were left to race. The aim was to find out which companie's binder would work the best in core production by testing and would be profitable by costs. In addition there was looked the modifications what is had to do to core shooters that the transition to anorganic production would be possible.

The principal aims of new binder were to improve quality of core production and casting, grow effectivity of production and new binder's odourlessness and nonpoisonous. In addition one of the most important attribute was emptying of the casts.

As a result of this engineering project each of company's binder's functionality in production of Oras were clarified. Also how the costs will be splitted in transition to anorganic production were settled.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	ORAS OY.....	6
3	TUOTANTOPROSESSIN VAIHEET ORAS OY:SSÄ.....	7
3.1	Keernahiekan valmistus	7
3.2	Keernan valmistus.....	9
3.3	Valu.....	11
3.4	Valosten puhdistus	12
3.5	Sahaus ja tarkistus.....	13
3.6	Koneistus.....	13
3.7	Hionta ja kiillotus.....	14
3.8	Muoviosien ruiskupuristus.....	14
3.9	Kromaus.....	14
3.10	Kokoonpano ja pakkaus.....	15
4	EPÄORGAANISEN KEERNANTUOTANNON EROT VERRATTUNA ORGAANISEEN.....	15
5	TUOTANNON ASETTAMAT VAATIMUKSET KEERNALAATIKOILLE	17
5.1	Keernalaatikoiden valmistusmateriaali	17
5.2	Irroiteaineet	17
5.2.1	ACMOS 118-95	18
5.2.2	SPEFAT 6022	19
5.3	Keernalaatikoiden puhdistus	19
5.3.1	Mekaaninen puhdistus	20
5.3.2	NaOH 32%	20
6	KEERNATYKIN MEKAANISET JA ELEKTRONISET MUUTOKSET	20
6.1	Kaasutuslevy	21
6.2	Keernatykin hiekkasiilon sulkulevy	23
7	SIDEAINETARJOAJAT JA SIDEAINEET.....	24
7.1	Hüttenes-Albertus	24
7.1.1	Cordis-8593	25
7.1.2	AnOrgit-8610	25
7.2	AWB	25
7.2.1	IKO-WB-OR 9 A2.....	25
7.2.2	IKO WB-A006.....	26
7.2.3	NaOH 32%	26
7.3	ASK Chemicals.....	26

7.3.1 Inotec HC 2000.....	26
7.3.2 Inotec Promotor EP 4220	27
8 SIDEAINETUTKIMUKSET	27
8.1 Sekoitusmäärät, -ajat ja keernatykin parametriarvot	27
8.2 Keernan pinnanlaatu	29
8.3 Kuivatusajat	30
8.4 Polttotestaus	32
8.5 Valu ja valoksien analyysi	33
8.6 Valoksien puhdistustulokset	34
8.7 Koneistuksen jälkeinen tarkistus.....	35
9 KUSTANNUSLASKENTA.....	37
9.1 Tarveaineiden kustannukset.....	38
9.1.1 Nykyisen hot-box –menetelmän sideainekustannukset	38
9.1.2 Hüttenes-Albertus	38
9.1.3 AWB	38
9.1.4 ASK Chemicals	39
9.2 Käyttökustannukset.....	39
9.2.1 Nykyiset käyttökustannukset	39
9.2.2 Käyttökustannukset käytettäessä epäorganisia sideaineita	40
10 SIDEAINEIDEN KESKINÄINEN VERTAILUANALYYSI.....	40
11 YHTEENVETO	44
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Oras Oy ja se on tehty osana Oras Oy:n Rauman tehtaan messinkivalimoon keskittyvää tuotekehitysprojektia. Oras Oy:llä on tarkoituksena siirtyä tulevaisuudessa keernan valmistuksen osalta ympäristö- ja päästöystävälliseen epäorgaaniseen tuotantoon korvaten nykyinen organinen valmistusmenetelmä. Tämä opinnäytetyö on luonteeltaan tutkimuspohjainen ja työn tarkoituksena oli vertailla eri yritysten tarjoamia keernahiekkaan seostettavia epäorgaanisia sideaineseoksia ja löytää toimivin ja kannattavin ratkaisu tuotannollisista sekä kustannuksellisista näkökulmista katsoen. Tämän lisäksi työssä perehdytään siihen, mitä on epäorgaaninen keernantuotanto, ja miten se eroaa orgaanisesta tuotannosta. Näiden ohella käsitellään myös muutoksia laitekannassa, joita muutos organisesta tuotannosta epäorgaaniseen tulee Oraksella edellyttämään.

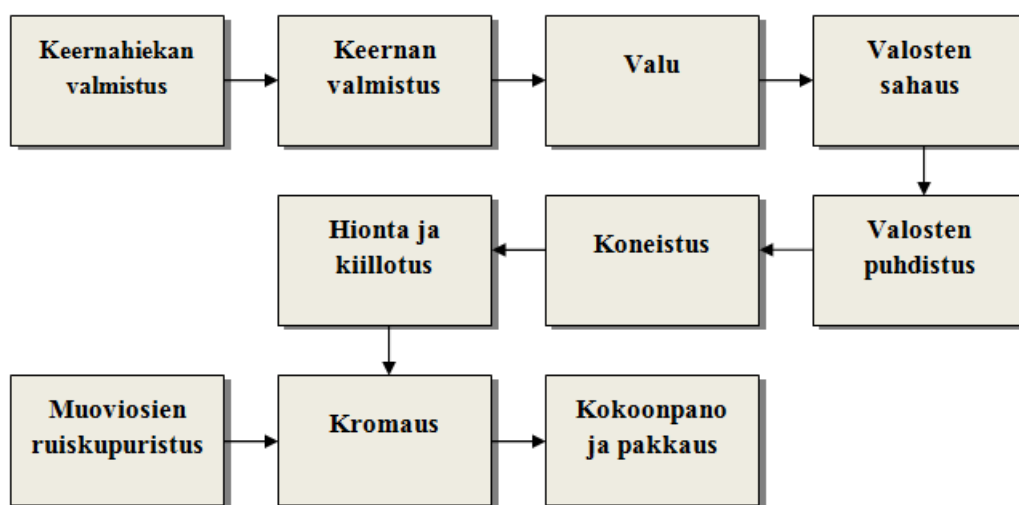
2 ORAS OY

Oras Oy on vuonna 1945 Raumalle perustettu yritys, joka on perheyhtiö Oras Investin omistama. Oras kehittää, valmistaa ja markkinoi vettä ja energiaa säästäviä käyttäjäystävällisiä talotekniikan vesijärjestelmiin kuuluvia tuotteita. Oras on sektorillaan pohjoismaiden hallitseva markkinointijohtaja. Tuotteiden valmistus tapahtuu Euroopassa yhtiön kolmessa tehtaassa, jotka sijaitsevat Suomessa, Puolassa ja Norjassa. Myyntitoimintaa Oraksella on tämän lisäksi jo lähes jokaisessa Euroopan maassa. Pääkonttori sijaitsee Raumalla. Henkilöstöä yrityksellä on noin 1000. Oras Oy:n liikevaihto vuonna 2011 oli 129,0 miljoonaa euroa. /1/

Oras Oy:n tuotanto jakautuu kolmeen tuoteryhmään: mekaanisiin hanoihin, elektronisiin hanoihin ja venttiileihin. Käyttäjäystävällisyys, hygienisyys, ekologisuus, laadukkuus, ylellisyys ja innovatiivisuus ovat tekijöitä, jotka näkyvät jokaisessa Oraksen valmistamassa tuotteessa. /1/

3 TUOTANTOPROSESSIN VAIHEET ORAS OY:SSÄ

Oras Oy:n Rauman toimipisteen tuotantoprosessi koostuu seuraavista prosessivaiheista: keernahiekan valmistus, keernan valmistus, valu, valosten sahaus, valosten puhdistus, koneistus, hionta ja kiillotus, muoviosien ruiskupuristus, kromaus sekä kokoonpano ja pakkaus. Näiden prosessivaiheiden lisäksi jokaisessa vaiheessa panostetaan jatkuvaan laadunvalvontaan. Tuotantoprosessikaavio näkyy kuvassa 1.



Kuva 1. Oras Oy:n hanavalmistuksen tuotantoprosessikaavio.

3.1 Keernahiekan valmistus

Keernahiekka koostuu useista eri tekijöistä ja niiden välisistä keskinäisistä kombinaatiosta. Lähtökohta on, että valmis hiekkaseos koostuu hiekasta ja sideaineesta. Sideaineet voivat olla jauhemaisia tai nestemäisiä. Jauhemainen sideaine tarvitsee kuitenkin hiekkaan sekoittuakseen aina jonkin nestepohjaisen liuoksen. Sideaineiden tehtävä on kiinnittää hiekan yksittäiset rakeet kiinni toisiinsa siten, että valmis keerna kestää sulan metallin aiheuttaman rasituksen sekä mahdolliset tärinästä aiheutuvat rasitukset, joita saattaa esiintyä varastointiin liittyvissä toimenpiteissä. Sideaineet mahdollistavat hiekan kovettumisen, joka johtuu kahden tai useamman hiekassa olevan aineen keskinäisistä reaktioista. /2/

Oraksella käytettävä hiekka on belgialaista merenpohjahiekkaa. Hiekan ilmoitettu raekoko on $0,32\text{ mm}$. Pölyn osuus on noin 0.1% ja pH noin $7,3$. Sähkönjohtavuus hiekalla on $21\text{ }\mu\text{S/cm}$. Syttymisherkkyys hiekalla on 0 eli se on täysin palamatonta. Sideaineina oraksella käytetään hartsina Thermoset 2000, kovettimena Haerter AT 20 ja liukasteena Trennmittel 7828. /3/

Keernahiekan valmistukseen Oraksella käytetään siis hiekan lisäksi hartsia, kovetinta ja liukastetta. Nämä kaikki kolme ainesosaa ovat nestemäisessä muodossa. Automa-tisoitu laitteisto ohjaa hiekan hiekkasiilosta mikseriin, jossa akselinsa ympäri pyörivä siipiras sekoittaa hiekan ja sideaineet keskenään. Sekoituksen jälkeen hiekka ohja-taan mikseriltä kauhakuljettimeen, jossa valmis keernahiekka kuljetetaan keernaty-keille.

Käytettävistä keernahiekoista osa voi olla kierrätettäviä ja osa kertakäyttöisiä. Orak-sella on tällä hetkellä käytössään kokonaan kertakäyttöinen hiekka.



Kuva 2. Automa-tisoitu laitteisto pumpppaa sideaineet sideainevarastosta hiekkamikse-rille.



Kuva 3. Keernahiekan valmistusta ohjaava laitteisto ja hiekkakuljetin.

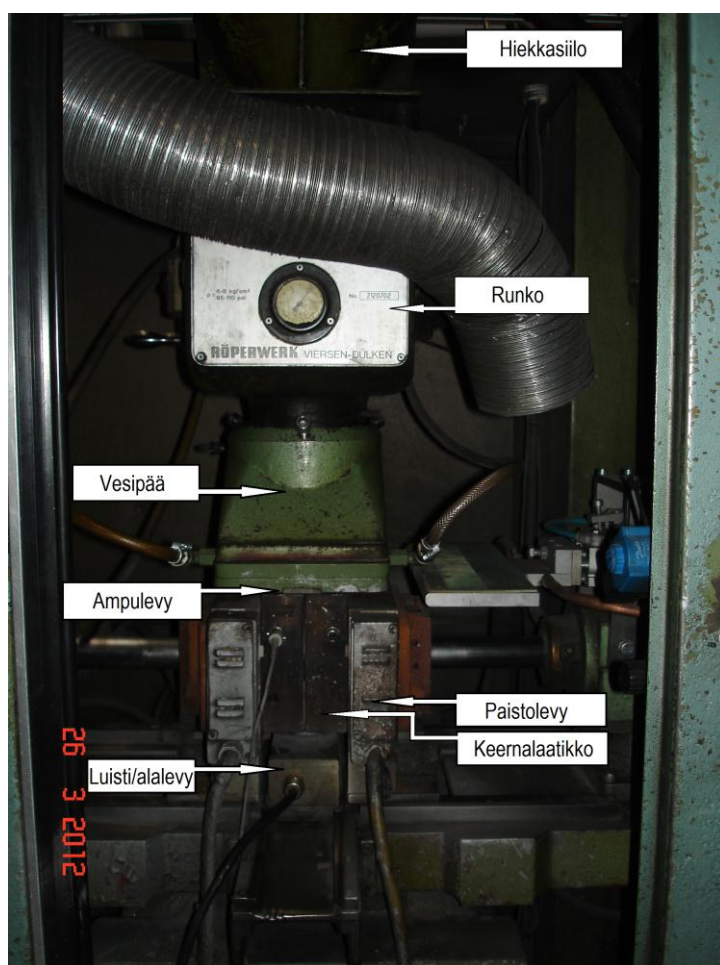
3.2 Keernan valmistus

Keerna on hyvin tulenkestävästä hiekkaseoksesta valmistettu ja kovetettu kappale. Sen tehtävä on valumuottiin eli kokilliin asetettuna muodostaa syntyneeseen valukappaleeseen eli valokseen reikiä ja onkaloita. Oraksella keernanvalmistuksessa on käytössä hot-box –menetelmä, jossa hiekan kovettuminen perustuu korkean lämpötilan ja sideaineiden yhteisvaikutukseen. /4/

Hyvän keernan tulee täyttää monia eri vaatimuksia. Sen täytyy olla pinnanlaadultaan riittävän kova ja tasainen sekä keernan muotojen tulee olla riittävän tarkkarajaisia. Keernalla pitää olla myös riittävän suuret keernakannat, jotta se pysyy paikallaan kokillissa valun aikana. Lujuuden tulee olla riittävän suuri, että keerna kestää kuljetuksen sekä muottiin asettamisen aiheuttamat rasitukset. Näiden rasitusten lisäksi keernan tulee kestää sulan metallin aiheuttamat mekaaniset rasitukset sekä lämpörasitukset. Läpäisevyyden tulee olla niin hyvä, että keernakaasut pääsevät esteettä poistumaan keernasta. Valun jälkeen keernan tulee myös olla helposti poistettava valoksen sisältä. /4/

Keernatykkien päällä on siilon muotoinen hiekkasäiliö, jonne kauhakuljetin laskee hiekan. Säiliön alla on keernatykin runko-osa, jossa keskellä hiekkasäiliön alapuolella sijaitsee pystysuunnassa hiekkasylinteri. Runko-osassa sijaitsee myös paineilmasäiliö, jonka avulla mahdollistetaan hiekan ampuprosessi keernalaatikoihin. Hiek-

kasynterinin yläpäässä sijaitsee sulkupelti, joka tiivistää sylinteriosan ampuprosessin ajaksi. Alapäässä sijaitsee erillinen, muusta rungosta irroitettava puhalluspää, jota kutsutaan vesipääksi. Vesipäähän on kiinnitetty erillinen ampulevy, jossa on tietty määrä ympyränmuotoisia reikiä, joiden läpi keernahiekka johdetaan vesipään alla oleviin keernalaatikoihin. Vesipään ontossa rungossa on valmistusprosessin aikana jatkuva vedenkierto, joka estää vesipäässä olevan hiekan jähmettymisen. Suljettujen keernalaatikoiden yläpinnalla sijaitsevassa jakosaumassa on sama määrä reikiä eli niin sanottuja hiekkakanavia kuin ampulevyssä, ja näistä rei'istä keernahiekka johdetaan keernalaatikoihin. Keernalaatikot ovat varustettu ilmanipoilla, jotta ampuprosessin paineilma pääsee pois laatikoista ja hiekka täyttyy laatikkoon tiivisti. Keernalaatikot sulkeutuvat ja avautuvat erillisen pöytätason päällä pneumaattisesti sylinterimekanismilla varustettujen käsivarsien avulla. Pöytätaso liikkuu valmistusprosessin aikana ylös alas –liikettä.



Kuva 4. Keernatykin pääosat.

Hiekkasäiliöstä hiekka pääsee vapaasti tippumaan sylinterin läpi vesipäähän. Valmistusprosessin alussa sylinterin yläpäässä oleva sulkupelti sulkeutuu ja runko-osan alla oleva pöytätaso nousee ylös siten, että keernalaatikot ja ampulevy ovat toisiaan vasten tiiviisti. Tämän jälkeen rungon paineilmasäiliöstä johdetaan painetta venttiilin läpi sylinteriin ja tämä saa aikaan hiekan ampuprosessin vesipäästä ampureikien läpi keernalaatikkoon. Keernalaatikossa hiekka kovettuu tietyn aikaa tietyssä lämpötilassa. Tämän jälkeen pöytätaso laskee vesipäältä alas, keernalaatikot avautuvat ja keerna voidaan poistaa koneesta.

Oraksella keernalaatikoiden lämmityksen hoitavat sähkövastukset. Keernalaatikoiden lämpötila valmistusprosessin aikana on noin 230-290°C valmistettavasta kappaleesta riippuen. Paistoajat ovat välillä 8-25 sekuntia. Keernat ovat valukelpoisia kuivatusajan jälkeen, jotka vaihtelevat keernan koosta ja muodosta riippuen parista tunnista muutamiin päiviin.

3.3 Valu

Valaminen Oraksella tapahtuu koneellisesti matalapainevaluna. Raaka-aineena käytetään messinkiharkkoa sekä viallisia valoksia, jotka kuljetetaan uudelleen valimoon ja niin edelleen sulatukseen.

Valuprosessissa keerna asetetaan kokilliin ja paineilmalla puhalletaan kevyesti kokillin pinnalta mahdollinen keernan pinnasta irronnut hiekka pois. Tämän jälkeen valukoneen käsivarret sulkevat kokillit ja valukone pyörähtää akselinsa ympäri 180 astetta laskien kokillit valu-uunin kannella sijaitsevan suuttimen päälle. Paineilman avulla valumessinki nousee uunista putkimaista suutinta pitkin ylös täyttäen kokillin alhaalta ylöspäin. Täytön jälkeen valukone pyörähtää jälleen takaisin lähtöasemaansa avaten kokillit ja näin valos voidaan poistaa kokillista. Jokaisen valukerran jälkeen kokillit kastetaan grafiittipitoiseen veteen. Kasto jäähdyttää kokilleja sekä estää valosta tarttumasta kokillin pintaan valun aikana.

Valulämpötilat vaihtelevat valettavasta kappaleesta riippuen välillä 960-1010°C. Lämpötilan lisäksi jokaiselle valettavalla kappaleelle asetetaan omat valuarvonsa kuten valupaine, valuventtiiliaika, odotusaika ja kasto aika.



Kuva 5. IMR-matalapainevalukone.

3.4 Valosten puhdistus

Valun jälkeisessä puhdistuksessa valoksista poistetaan niiden sisälle jääneet keernahiekat. Hiekka poistetaan sinkopuhdistusmenetelmällä. Menetelmässä valokset asetetaan sisälle pyörivään rumpuun. Varsinaisen puhdistustyön rummussa hoitavat pyöreät, halkaisijaltaan 0,23 mm olevat teräskuulat. Suljetussa ja pyörivässä rummussa teräskuulat iskeytyvät suuren kierrosnopeuden ansiosta ympäri valosten pintaa. Kierrosnopeuden aiheuttama voima, joka välittyy valoksiin teräskuulien välityksellä, saa aikaan sen, että valosten sisällä oleva keernahiekka alkaa irtoamaan valoksesta. Poistettava hiekka on rakenteeltaan hyvin hienojakoista ja hiekka poistuu rummusta imurin välityksellä.

Sinkopuhdistusmenetelmä on nelivaiheinen. Ensimmäinen vaihe on nimeltään hiekan poisto, joka kestää 60 sekuntia. Seuraavassa vaiheessa eli puhdistussinkouksessa kierrosnopeutta nostetaan ja tätä vaihetta ajetaan 360 sekuntia. Tämän jälkeen on vuorossa pienemmän kierrosnopeuden omaavat 60 sekunnin kiillotusvaihe sekä 360

sekunnin viimeistelypuhdistus. Oraksella käytetään kaikkien valettavien kappaleiden kanssa tätä kokonaisajaltaan 14 minuuttia kestävää puhdistuskaavaa.

3.5 Sahaus ja tarkistus

Puhdistuksen jälkeen valoksista sahataan pois valukanavat ja –syötöt. Sahaaminen suoritetaan vannesahoilla tai erilaisilla katkaisuterillä. Poissahatut valukanavat ja –syötöt erotellaan valoksista eri paikkaan ja näin ylimääräinen valumateriaali saadaan uudelleen tuotantokiertoon ja sulatukseen. Sahauksen yhteydessä kappaleille tehdään myös lyhyt silmämääräinen tarkastus.

Sahauksen jälkeen osa valoseristä kulkee laadunvalvonnan kautta ennen koneistusvaiheeseen menoa. Laadunvalvonnassa jokainen tarkastettava kappale tutkitaan huolellisesti mahdollisten valuvirheiden varalta. Tarkastuksista pidetään pöytäkirjaa ja jokainen tarkastettava valuerä raportoidaan kirjallisesti. Raportissa on selvästi eroteltu tarkastettavien valosten kappalemäärä, hyväksytyjen ja hylättyjen valosten kappalemäärät, virhekoodit, saantoprosentit sekä päivämäärä ja tarkastajan henkilökohtainen tarkastusnumero.

3.6 Koneistus

Sahauksen jälkeen valokset koneistetaan. Koneistaminen tapahtuu erilaisilla työstökoneilla, koska tuotteen muoto tai tekniset toiminnot edellyttävät määrämittoja ja -muotoja. Oraksella yleisimpinä työstötapoina toimivat poraus, jysintä, hionta, sorvaus, leikkaus ja sahaus. Joidenkin tuotteiden koneistuksessa saattaa tapahtua yli kymmenen koneistusvaihetta. /5/

Koneistaja asettaa valoksen työstökoneeseen ja kiinnittää koneen leuat. Tämän jälkeen kone käynnistetään ja kone tekee reiät ja muut koneistetut pinnat valoksiin koneeseen ohjelmoidun työstöohjelman mukaisesti. Kappaleet myös tulkataan eli varmistetaan tietyin väliajoin, jotta koneistuspinnat pysyvät mittojen ja muotojen toleranssirajojen sisäpuolella. /5/

3.7 Hionta ja kiillotus

Koneistamisen jälkeen suoritetaan hanarunkojen hionta, joka toteutetaan joko käsin tai koneellisesti. Suurimman osan hionnoista suorittaa robotti, joka on ohjelmoitu liikuttamaan kappaleita erillistä hiomanauhaa vasten. Korjaushionta suoritetaan yleensä käsin. Hionnassa hanarungoista poistetaan valussa syntyneet pintavirheet. Sileän pinnan kiilloittaminen on mahdollista käyttäen kiillotusvahaa ja – kangaslaikkoja. Hionta-aika on tuotteesta riippuen noin 3-5 minuuttia. Hionnan jälkeen hana kiillotetaan pyörivän kangaslaikan ja nestemäisen tai kiinteän vahan avulla. /5/

3.8 Muoviosien ruiskupuristus

Hanojen muoviosat ja erilliset muovituotteet valetaan automaattitoimintoisilla ruiskupuristuskoneilla teräsmuotteihin. Raaka-aine eli ABS-muovirouhe syötetään automatisoidusti putkistoja pitkin ruiskupuristuskoneille. Muovin sulattaminen oikeaan lämpötilaan tapahtuu lämmitysvastuksien ja kitkan avulla. Tämän jälkeen sula muovaines ruiskutetaan suurella paineella syöttökanaviston kautta teräsmuottiin. Ruiskutusaineet voivat olla joillakin kappaleilla jopa 1000 bar. /5/

Teräsmuoteissa on jatkuva vesijäähdytys, joka pitää muotin vakio-lämpöisenä. Jäähdyttyään muoviosat ovat suoraan valmiita pintakäsittelyyn muovikromaamoon tai maalamoon tai vaihtoehtoisesti suoraan käyttöön. /5/

3.9 Kromaus

Hiontakiillotuksen ja ruiskupuristuksen jälkeen messinkituotteet ja osa muovituotteista kromataan. Valmiin kromipinnoitteen paksuus on noin 10 μm . Oraksella molemmille tuotteille on omat kromaamonsa. /5/

ABS-muoviosat ripustetaan käsin telineisiin ja tanko ohjataan tietokoneohjelmoituun linjaan. Etsaamalla kappaleen pintaan syövytetään tartunnat kromipinnoitteelle. Kappaleita esikäsitellään neljässä eri vaiheessa niin, että kemiallisessa nikkelikylvyssä

kappaleen pintaan tulee metallinen nikkeli-kerros. Nikkelikäsittelyn jälkeen kappaleet pinnoitetaan kromipinnoitteella. /5/

Messinkituotteita kromattaessa tulee kappaleille suoritetaan ensin pesu. Tämän jälkeen kappaleille tehdään nikkeli- ja kromikäsittely samalla tavoin kuin muoviosille. /5/

3.10 Kokoonpano ja pakkaus

Perinteisissä kokoonpanopaikoissa hanat kootaan kahden hengen soluissa, joissa toinen kokoaa ja toinen testaa tuotteen. Uudenaikaisessa kokoonpanopaikassa kokoonpanotyö on ositettu vielä useammalle henkilölle. Jokainen hana testataan joko vesitesti- tai ilmatestilaitteella ja tarkastetaan silmämääräisesti. Kun tuote on hyväksyttävästi testattu, se varustetaan valmistajaleimalla. Tämän jälkeen hanat pakataan käyttöohjeineen myynti- ja kuljetuspakkaukseen. /5/

4 EPÄORGAANISEN KEERNANTUOTANNON EROT VERRATTUNA ORGAANISEEN

Epäorgaanisessa keernantuotannossa sideaineina käytetään erilaisia silikaattisideaineseoksia ja keernan kovettaminen tapahtuu kuivattamalla. Epäorgaaninen tuotanto eroaa perinteisestä orgaanisesta tuotannosta myös monin eri tavoin, jotka näkyvät selvästi tuotannon eri vaiheissa.

Keernahiekalla, johon on seostettu epäorgaanisia sideaineita, säilyvyys eli penkkiaika on suljetussa astiassa erittäin hyvä. Tällaisissa olosuhteissa hiekka on käyttökelpoista noin 24 tunnin ajan. Penkkiaika kuitenkin huononee hiekan ollessa avonaيسessa tilassa. Tällöin se pysyy käyttökelpoisena noin 30 minuuttia. Sekoitettun hiekan juoksevuus on hyvä 45-60 asteen hiekkasiilossa. /6/

Keernan valmistusvaiheessa ajolämpötilat ovat pienempiä kuin orgaanisessa tuotannossa. Käytettäessä epäorgaanisia sideaineita keernalaatikoiden lämpötila on noin 160-240°C, kun orgaanisessa tuotannossa lämpötilat vaihtelevat 240-295°C välillä. Tällöin paistoajat ovat vastaavasti pidempiä ellei kovettamisen lisäksi käytetä muuta keernan kuivattamismenetelmää. Vaihtoehtoisia menetelmiä on kolme: voidaan käyttää alipaineimulevyä, joka imee kosteuden keernalaatikoiden ampureikien kautta. Toinen vaihtoehto on ilmakuivaus eli kuumennettua paineilmaa puhalletaan ampurei'istä keernan läpi. Kolmas vaihtoehto on mikroaaltokuivaus 650-800 W teholla. Kun käytetään jotain näistä kolmesta kuivausmenetelmästä, saadaan tahtiaikaa pienennettyä ja lopullinen aika tulee olemaan suurin piirtein samalla tasolla kuin orgaanisessa tuotannossa. /6/

Epäorgaaninen keerna voidaan ottaa käyttöön lähes heti valmistamisen jälkeen. Orgaanisessa tuotannossa kuivatusaikojen ollessa useista tunneista muutamiin päiviin, epäorgaanisen tuotannon ajat ovat suurimmillakin kappaleilla vain muutamia tunteja. Valmiilla keernalla ei ole käytännössä maksimi varastointiaikaa. Olosuhteissa, joissa lämpötila ja ilmankosteus ovat suomalaisiin olosuhteisiin nähden tavallisella tasolla, on testattu jopa kahden vuoden varastointiaikoja ja keernan pinta on pysynyt hyvänä. Käytetty epäorgaaninen hiekka on myös helpommin kierrätettävää kuin orgaaninen hiekka. /6/

Epäorgaaninen sideaine keernan pinnalla estää palamisreaktion ja keerna ei käyrtä tai kaasuta. Tällöin keernan pinta ei varista ja keernahiekkaa ei tunkeudu valumessinkiin. Epäorgaaninen keerna läpäisee myös hyvin valuprosessissa syntyvät kaasut, kun hiekan raekoko on välillä 0,18-0,50 mm. Oikeilla sideainemäärillä ja valulämpötilalla saavutetaan sideainesillan rikkoutuminen, jolloin valoksen sisällä oleva keerna romahtaa. Tällöin valosten puhdistus helpottuu huomattavasti. /6/

5 TUOTANNON ASETTAMAT VAATIMUKSET KEERNALAATIKOILLE

5.1 Keernalaatikoiden valmistusmateriaali

Keernalaatikot altistuvat tuotannossa jatkuvalle rasitukselle. Hiekkaa ammutaan ampureikien läpi keernalaatikkoon noin 0,7 *bar* paineella. Tämä aiheuttaa sen, että pitkällä aikavälillä keernalaatikoiden muotojen pinnat ja ampukanavat kuluvat. Keernalaatikoiden tulee kestää hyvin myös mekaanista rasitusta kuten suorahiomakoneilla tehtävää puhdistusta.

Valmistettaessa keernalaatikoita erilaisilla työstökoneilla ja poranterillä, tulee materiaalin olla ominaisuuksiltaan helposti työstettävää. Oraksella materiaaliksi on valittu S355J0 eli Fe 52 C. S355J0 on rakenneteräs, jonka myötölujuus R_{eH} on 355 MPa ja murtolujuus 510-680 MPa. Iskusitkeysluokka on J0 eli se on testattu 0°C lämpötilassa. Taulukosta 1 löytyvät materiaalin S355J0:n kemialliset koostumukset. /7/

Taulukko 1. Rakenneteräs S355J0:n kemialliset koostumukset.

C	Si	Mn	P	S	N	Cu	CEV _{max}
0,22 max	0,55 max	1,60 max	0,035 max	0,035 max	0,012 max	0,55 max	0,47

5.2 Irroiteaineet

Epäorgaaninen keerna on pinnaltaan paljon kovempi kuin orgaaninen. Keernalaatikoiden avautuessa keernaan saattaa usein kohdistua repimistä, joka johtuu keernan takertumisesta keernalaatikoiden muotoihin. Repiminen aiheuttaa usein keernaan halkeaman. Jotta repimistä ei tapahtuisi tai sen määrää voitaisiin merkittävästi vähentää, tullaan epäorgaanisen tuotannon yhteydessä Oraksella käyttämään keernalaatikoiden pinnassa irroiteainetta. Ennen kuin keernojen valmistaminen aloitetaan, suihkutetaan tai sivellään keernalaatikoiden sisäpinnan muotojen päälle ohut kerros irroiteainetta. Aine vähentää keernan takertumista keernalaatikoiden sisäpinnan muotoihin ja näin halkeamien määrää saadaan vähennettyä merkittävästi.



Kuva 6. Keernalaatikko, jonka pintaan on lisätty irroiteainekerros.

5.2.1 ACMOS 118-95

ACMOS 118-95 on ACMOS CHEMIE GmbH&Co:n valmistama irroiteaine, joka on suunnattu kovettuvalle hiekalle valimotekniikan tarpeisiin. Olomuodoltaan ACMOS on pastamaista, väriltään hopean harmaata ja sen haju on liuottimen kaltainen. Kiehumispiste on 140°C , aine on syttyvää kiinteänä tai kaasuna yli 200°C lämpötiloissa ja leimahduspiste on 24°C . Tuote ei ole itsestään syttyvää. /8/

ACMOS 118-95 sisältää koostumukseltaan neljää eri ainetta. 1-5% on 2-propanolia eli isopropanolia, 30-35% vedyllä käsiteltyä raskasta naftaa eli petroolia, 40-45% hydrodesulfuroitua raskasta naftaa ja 5-10% stabiloitua alumiinipulveria. /8/

ACMOS 118-95:n toimivuus epäorgaanisen tuotannon yhteydessä oli hyvällä tasolla. Repiminen väheni lähes minimaaliselle tasolle. Hyviä testaustuloksia varjosti kuitenkin se, että pastamaisen olomuotonsa johdosta ACMOS 118-95:n levittäminen keer-

nalaatikon sisäpintaan jouduttiin toteuttamaan käyttämällä sivellintä. Tästä johtuen levittäminen oli hidasta sekä hyvin työlästä. ACMOS 118-95:n käyttämisen myötä myös keernalaatikoiden puhdistaminen vaikeutui todella paljon, koska kovettuessaan aine jämähti erittäin tiukkaan kiinni keernalaatikoiden sisäpintaan.

5.2.2 SPEFAT 6022

SPEFAT 6022 on SPEFORM metalli-Chemie GmbH:n valmistava aerosolikäyttöinen irroiteaine. Olomuodoltaan SPEFAT on nestemäistä, väriltään hopeaa ja sen haju on luonteenomainen. Kiehumispiste on 88°C, syttymispiste 270°C ja leimahduspiste -12°C. Tuote ei ole itsestään syttyvää. /9/

SPEFAT 6022 sisältää koostumukseltaan kahta eri ainetta. 50-100% on alifaattista seosta ja 2,5-10% on flegmatoitua alumiinipulveria. /9/

SPEFAT 6022:n toimivuus epäorgaanisen tuotannon yhteydessä oli hyvällä tasolla. Repiminen väheni lähes minimaaliselle tasolle. Kun repimistä ilmeni, korjaustoi-
menpide oli niinkin helppo kuin kevyt suihkaus alumiinispraytä keernalaatikoiden sisäpinnan muotoihin. Tämän jälkeen repiminen katosi. Tuotteen levittäminen keernalaatikoiden pintaan oli myös aerosolimekanismin vuoksi erittäin helppoa ja vaivatonta. Ohuen levityskerroksen ansiosta laatikoiden puhdistaminen helpottui. Myös keernalaatikoiden puhdistuskertoja ei tarvittu tehdä niin paljon samassa ajassa, kuin pastamaisen korvaavan tuotteen kanssa.

5.3 Keernalaatikoiden puhdistus

Tavallisissa tuotanto-olosuhteissa keernalaatikot puhdistetaan Oraksella vesipesussa ennen kuin ne viedään huoltoon lukuunottamatta keernalaatikoiden ilmanippojen puhdistusta, joka tehdään aina ennen uuden kappaleen valmistuksen aloittamista ase-
tuksen yhteydessä. Epäorgaaninen tuotanto aiheuttaa kuitenkin sen, että irroiteaineiden käytöstä johtuen puhdistusta voidaan joutua suorittamaan myös tuotannon aika-
na. Irroiteaine saattaa kerääntyä paikoittain liian paksuiksi kerroksiksi ahtaisiin yksi-
tyiskohtaisiin paikkoihin kuten kulmiin ja pieniin kanavistoihin. Joskus myös ahtai-

siin paikkoihin kerääntyy liian paksu kerros karstaa, mikä on välttämätöntä poistaa, jotta keernan muoto pysyy laillisen mukaisena. Mikäli näistä syistä puhdistusta joudutaan tekemään, on käytössä kaksi eri puhdistusmenetelmää, mekaaninen puhdistus sekä natriumhydroksidin käyttö.

5.3.1 Mekaaninen puhdistus

Mekaaninen puhdistus toteutetaan Oraksella suorahiomakoneilla. Puhdistettavasta kohteesta riippuen suorahiomakoneisiin on saatavilla lukuisia erikokoisia ja –muotoisia karalaikkoja. Joskus suorahiomakoneiden lisäksi saatetaan käyttää karkeudeltaan hienoa hiomapaperia.

5.3.2 NaOH 32%

Joskus irroiteaine saattaa olla jämähtänyt keernalaatikon pintaan niin tiukasti, että pelkkä suorahiomakoneella tehtävä puhdistus ei riitä. Tällöin käytetään kovettuneen irroiteaineen liuottamiseen 32% laimennettua natriumhydroksidia eli lipeää. Puhdistustoimenpiteen aikana tulee kuitenkin noudattaa äärimmäistä huolellisuutta ja tarkkuutta, sillä lipeä on erittäin herkkä reagoimaan keernalaatikon pinnan kanssa, jos sen antaa vaikuttaa liian kauan. Tämä saattaa aiheuttaa laatikon pinnan syöpymistä ja tästä johtuen laatikon pintaan saattaa kerääntyä ruostetta. Tällöin keernalaatikko on käyttökelvoton ja sen tilalle joudutaan teettämään uusi laatikko.

6 KEERNATYKIN MEKAANISET JA ELEKTRONISET MUUTOKSET

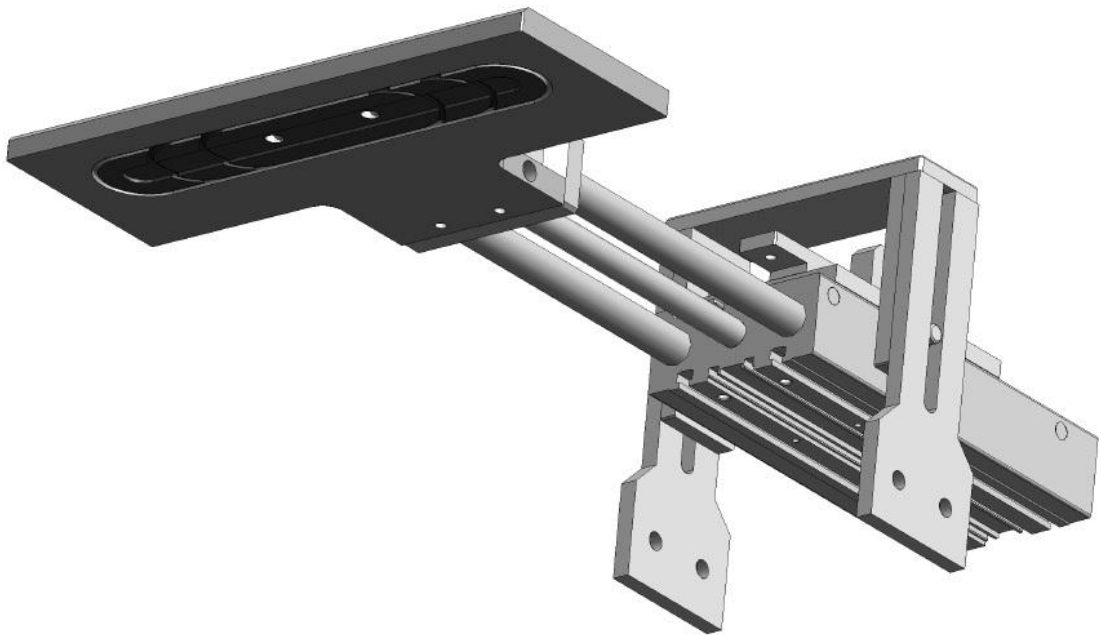
Epäorgaaninen keernantuotanto aiheutti myös sen, että nykyisiin keernatykkien rakenteisiin jouduttiin tekemään muutoksia. Koska ilman erillistä keernan kuivattamismenetelmää tuotannon tahtiajat olisivat nousseet liian korkeiksi, päätettiin keernatykkiin lisätä keernan kuivattamista nopeuttava kaasutuslevy, joka puhaltaa kuumaa paineilmaa keernan läpi keernalaatikon ampukanavien kautta.

Koska epäorgaanisessa tuotannossa hiekan penkkiaika huononee avonaisessa tilassa, suunniteltiin ja toteutettiin keernatykin hiekkasiilon päälle sulkulevy, joka pitää hiekan suljetussa tilassa tuotannon aikana.

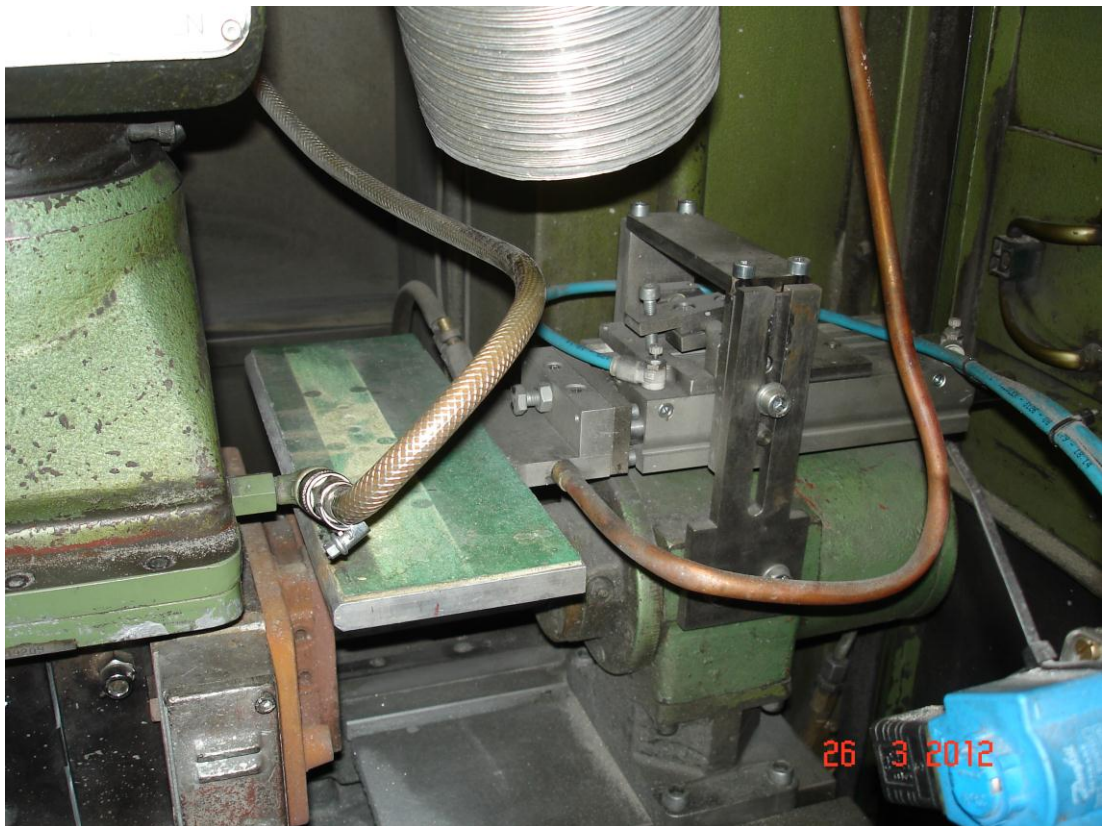
6.1 Kaasutuslevy

Kaasutuslevyn toimintaideana on puhaltaa kuumaa paineilmaa keernalaatikoiden ampukanavista keernan läpi. Tällöin saadaan keernan kovettumisaikaa pienennettyä. Kovettumisajan pienentyessä myös koko keernanvalmistusprosessin tahtiaikaa saadaan pienennettyä. Kaasutuslevyn toimintaprosessi on täysin automatisoitu ja sen kaikkia liikkeitä ja toimintaa ohjaa Siemens:n ohjelmoitava logiikka. Kaasutuslevymekanismi on kiinnitetty keernakoneen oikean käsivarsisylinterin päälle. Mekanismiin on liitetty kiinni paineilmaputki, joka on yhteydessä paineilmaverkostoon. Paineilman kuumennuksen hoitaa paineilmaputken sisällä oleva lämmitysvastus. Lämmitysvastuksen avulla paineilma saadaan lämmitettyä haluttuun lämpötilaan 200°C asti. Kaasutuslevy on valmistettu alumiinista.

Keernoja valmistettaessa hiekka johdetaan keernalaatikoihin ja tämän jälkeen keernalaatikot laskeutuvat vesipäältä alas. Tällöin ohjelmoitava logiikka antaa signaalin ja kaasutuslevy liikkuu kolmen tankomaisen männän työntämänä keernalaatikoiden päälle aivan ampulevyn alapuolelle. Seuraavaksi logiikalta lähtee signaali ja keernalaatikot nousevat takaisin kohti vesipäätä siten, että kaasutuslevy jää tiiviisti vesipään ja keernalaatikoiden väliin. Tämän jälkeen kaasutuslevyn ilmanavasta johdetaan keernalaatikkoon kuumaa paineilmaa noin 1,5 sekunnin ajan. Puhalluksen jälkeen keernalaatikot laskeutuvat pöytätason mukana jälleen alas, kaasutuslevy työntyy kotiasemaansa ja keernalaatikot avautuvat.



Kuva 7. 3D-mallinnuskuva kaasutuslevystä.

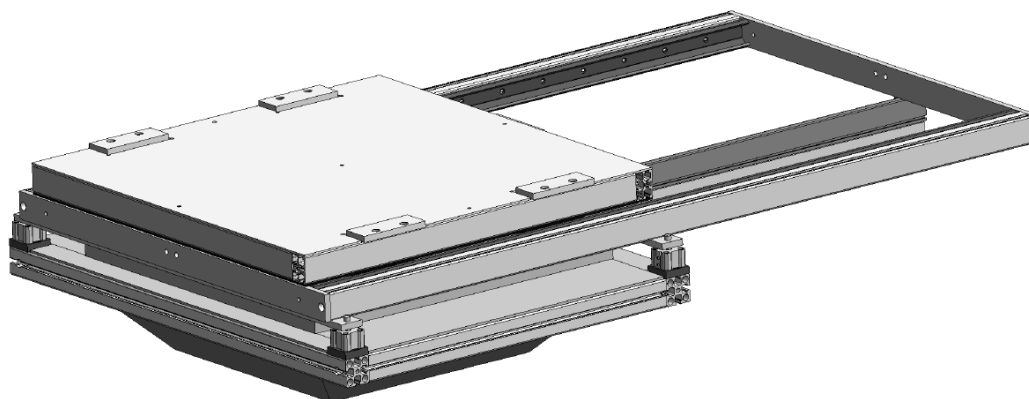


Kuva 8. Kaasutuslevy kiinnitettynä paistolevyn liikkumista säätelevän sylinterin päälle.

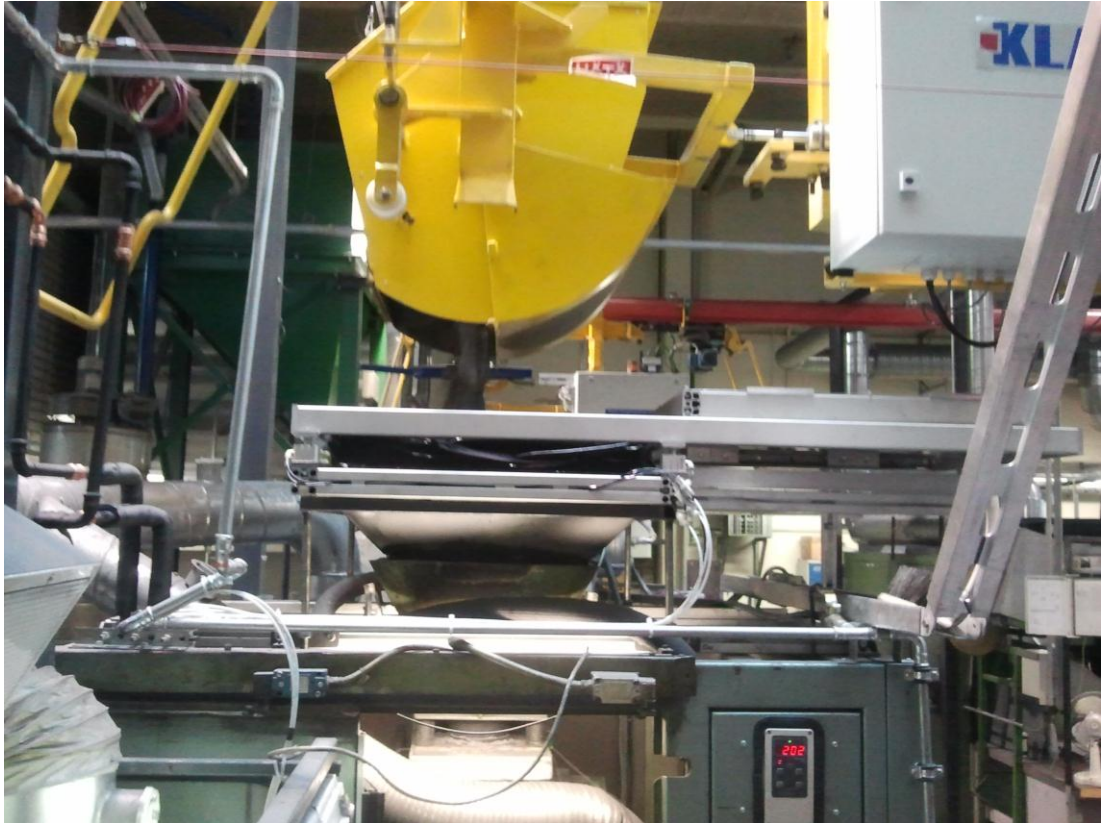
6.2 Keernatykin hiekkasiilon sulkulevy

Sulkulevyn tehtävänä on pitää keernatykin päällä oleva hiekkasiilo suljettuna muulloin kuin hiekkaa lisättäessä siiloon. Tällä tavalla saadaan keernahiekan säilyvyys pysymään hyvänä. Sulkulevyn toimintaprosessi on täysin automatisoitu ja sen liikkeitä ohjaa Siemens:n ohjelmoitava logiikka. Sulkulevymekanismi on valmistettu alumiiniprofiilista ja se on kiinnitetty keernatykin hiekkasiiloa ympäröivään metelli-kehikkoon.

Hiekkakuljettimen radalle on asennettu kuljettimen liikettä analysoiva anturi. Kun kuljetin on lähestymässä keernatykkiä, se kohtaa anturin ja anturilta lähtee signaali keernakoneen logiikalle. Tämän jälkeen logiikka antaa signaalin sulkulevyn toimintaa ohjaavalle magneettiventtiilille. Sulkulevy nousee ensin noin senttimetrin verran hiekkasiilon päällä ja tämän jälkeen se siirtyy sivusuunnassa pois siilon päältä. Kun hiekkakuljetin on palaamassa takaisin kotiasemaansa, se kohtaa jälleen radallaan anturin ja sama prosessi tapahtuu päinvastaisessa järjestyksessä.



Kuva 9. 3D-mallinnuskuva hiekkasiilon sulkulevystä ja -levyn kehikosta.



Kuva 10. Sulkulevy avautuu hiekkaa lisättäessä keernatykin hiekkasiiloon. Hiekan lisäyksen jälkeen siilo sulkeutuu automatisoidusti, kuten avautuessaankin.

7 SIDEAINETARJOAJAT JA SIDEAINEET

Lähtökohtana oli, että Oras Oy tulee valitsemaan uudeksi sideainetoimittajakseen sen yrityksen, jonka tuotteet toimivat parhaiten Oraksen tuotannossa. Jotta paras sideaineseos Oraksen tuotantoon löydettäisiin, päätettiin lähteä kilpailuttamaan kolmea eri yritystä ja heidän tarjoamia tuotteitaan. Nämä kolme yritystä olivat Hüttenes-Albertus, AWB ja ASK Chemicals.

7.1 Hüttenes-Albertus

Hüttenes-Albertus:n tarjoama sideaineseos koostui reseptiltään hiekan lisäksi kahdesta eri aineosasta: Cordis-8593 ja AnOrgit-8610.

7.1.1 Cordis-8593

Cordis-8593 on valimoteollisuuden tarpeisiin suunnattu hajuton natriumsilikaattiliuos. Liuoksen natriumsilikaatin pitoisuus on 25-35%. Lisäksi liuos sisältää booraksia eli dinatriumtetraboraattidekahydraattia, jonka pitoisuus on alle 1,5%. Loput liuoksen pitoisuudesta on vettä. 20°C mitattuna liuoksen tiheys on 1,365-1,385 g/cm^3 , pH – arvo noin 11,4-12,4 ja viskositeetti noin 25-45 *mPas*. Liuos ei ole syttyvä tai räjähtävä. /10/

7.1.2 AnOrgit-8610

AnOrgit-8610 on hajuton veteen liukenematon jauhemainen lisäaine. Jauhe saattaa sisältää pieniä annoksia piidioksidia eli kvartsia. Kvartsin pitoisuus on maksimissaan 0,5%. 20°C mitattuna jauheen tiheys on 340-400 kg/m^3 . Jauhe ei ole syttyvää tai räjähtävää. /11/

7.2 AWB

AWB:n tarjoama sideaineseos koostui reseptiltään hiekan lisäksi kolmesta eri aineosasta: IKO-WB-OR 9 A2, IKO WB-A006 ja 32% NaOH.

7.2.1 IKO-WB-OR 9 A2

IKO-WB-OR 9 A2 on valimoteollisuuden käyttöön tarkoitettu hajuton nestemäinen sideaineliuos. Liuos sisältää piihapon ja natriumsuolan sekoitusta, jonka pitoisuus on alle 40%. Loppuosa liuoksen pitoisuudesta on vettä ja muita tavanomaisia, ei vaarallisia materiaaleja. 20°C mitattuna liuoksen tiheys on maksimissaan 1,370 g/cm^3 , pH –arvo 11,3 ja viskositeetti 100 *mPas*. Liuos ei ole syttyvä tai räjähtävä. /12/

7.2.2 IKO WB-A006

IKO WB-A006 on valimoteollisuuden käyttöön tarkoitettu hajuton nestemäinen lisäaineliuos. Liuos on koostumukseltaan suspensio eli heterogeeninen seos ja siinä on piidioksideja sekoittuneena veteen. Piidioksidien pitoisuus on 48-52%. Loppu osuus liuoksesta on vettä. Liuoksen tiheys on noin $1,400 \text{ g/cm}^3$ ja pH –arvo noin 5-7. /13/

7.2.3 NaOH 32%

Natriumhydroksidi eli lipeä on vaale, hajuton, kiinteä aine, jota käytetään yleensä vesiliuoksena. 20°C mitattuna aineen tiheys on $2,13 \text{ g/cm}^3$, pH –arvo noin 14 ja vesiliukoisuus 1090 g/l . Natriumhydroksidi on erittäin herkkä reagoimaan muiden aineiden kanssa ja aine on pidettävä tarkasti erillään etenkin hapoista. Natriumhydroksidi laimennetaan Oraksella 32% liuokseksi veden kanssa. /14/

7.3 ASK Chemicals

Ask Chemicals:n sideaineseos koostui reseptiltään hiekan lisäksi kahdesta eri aineosasta: Inotec HC 2000 ja Inotec Promotor EP 4220.

7.3.1 Inotec HC 2000

Inotec HC 2000 on hajuton nestemäinen silikaattisideaineista koostuva liuos. Liuos sisältää piihapon ja natriumsuolan sekoitusta, jonka pitoisuus on 25-50%. Lisäksi liuos sisältää natriumhydroksidia, jonka pitoisuus on 0,5-2%. 20°C mitattuna liuoksen tiheys on $1,36\text{-}1,47 \text{ g/cm}^3$ ja pH –arvo 12-13. Liuoksen viskositeetti on 25°C mitattuna noin 20-60 mPas. Liuos ei ole syttyvä tai räjähtävä. /15/

7.3.2 Inotec Promotor EP 4220

Inotec Promotor EP 4220 on miedon hajuinen jauhemainen kivennäisseos. Jauheen piidioksidin pitoisuus on 0,1-0,5%. Pölyn osuus on noin $10,0 \text{ mg/m}^3$. Jauheen tiheys on $400\text{-}700 \text{ kg/m}^3$. Jauhe ei ole syttyvää tai räjähtävää. /16/

8 SIDEAINETUTKIMUKSET

Kaikkien kolmen yrityksen sideaineet testattiin tuotannossa. Valintaan vaikuttavia tekijöitä ja tutkittavia asioita olivat keernan pinnanlaatu, keernan kuivumisajat, keernan rakenteellisten ominaisuuksien muutokset ilmankosteuden kasvaessa, valutulokset sekä keernahiekan poistettavuus valoksien sisältä.

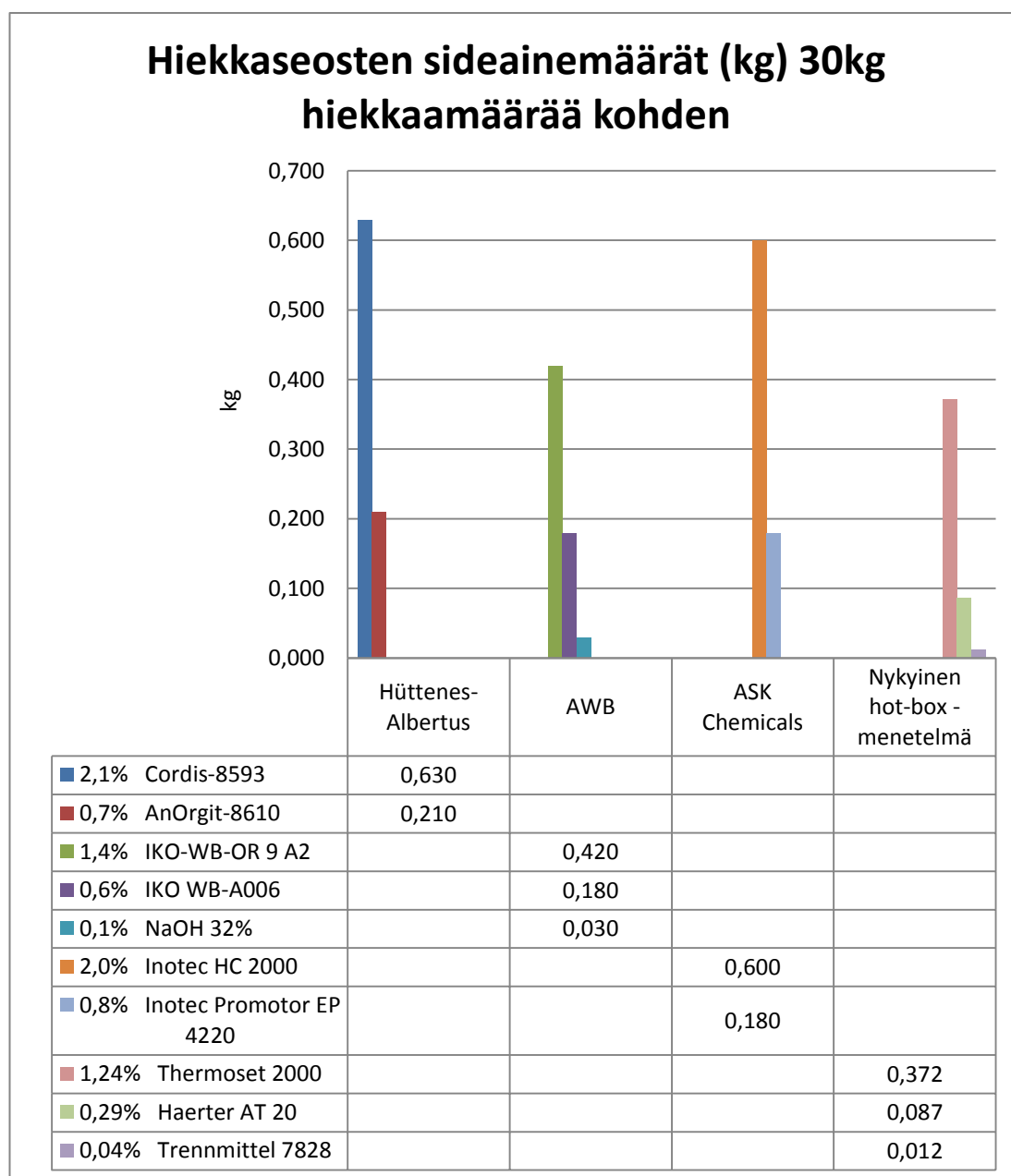
8.1 Sekoitusmäärät, -ajat ja keernatykin parametriarvot

Jokaisen sideainetarjoajan tuotteilla valmistettiin keernoja usealla erilaisella hiekkaseoksella. Hiekkaseosten sideainepitoisuuksia vaihdeltiin ja tällä tapaa etsittiin paras ja toimivin sideaineseos kunkin sideainetarjoajan tuotteille. Sideainepitoisuuksia testattaessa käytettiin apuna sideainetarjoajan antamaa pitoisuuskaaviota, jossa oli annettu useita erilaisia sideaineiden ohjepitoisuuksia.

Testattaessa Hüttenes-Albertus:n sideaineita toimivimmaksi sideaineseokseksi todettiin resepti, jossa 30 kg :aan hiekkaa seostettiin Cordis-8593:a $0,630 \text{ kg}$ ja AnOrgit-8610:a $0,210 \text{ kg}$. Sekoitusaika oli 60 sekuntia. Sekoituksen alkaessa lisättiin hiekan sekaan heti sekä Cordis-8593 että AnOrgit-8610.

Testattaessa AWB:n sideaineita toimivimmaksi sideaineseokseksi todettiin resepti, jossa 30 kg :aan hiekkaa seostettiin IKO-WB-OR 9 A2:a $0,420 \text{ kg}$, IKO WB-A006:a $0,180 \text{ kg}$ ja 32% NaOH:ta $0,030 \text{ kg}$. Sekoitusaika oli 90 sekuntia. Sekoituksen alkaessa lisättiin hiekan sekaan lipeää, 25 sekunnin kohdalla IKO-WB-OR 9 A2 ja 60 sekunnin kohdalla IKO WB-A006.

Testattaessa ASK Chemicals:n sideaineita toimivimmaksi sideaineseokseksi todettiin resepti, jossa 30 kg:aan hiekkaa seostettiin Inotec HC 2000:a 0,600 kg ja Inotec Promotor EP 4220:a 0,180 kg. Sekoituaika oli 120 sekuntia. Sekoituksen alkaessa lisättiin hiekan sekaan Inotec Promotor EP 4220 ja 60 sekunnin sekoituksen jälkeen Inotec HC 2000.



Kaavio 1. Hiekkaseosten sideainepitoisuudet.

Jotta valmistettavien keernojen rakenne ja pinnanlaatu olisivat hyviä sekä tuotannon tahtiaika olisi mahdollisimman lyhyt, tuli keernatykille asettaa useita eri parametrisarvoja. Näitä arvoja olivat keernalaatikoiden säätölämpötila, paistoaika, oven aukioloaika, sulkupellin aukioloaika, ilmastusaika, puhalluslämpötila, puhallusviive, puhallusaika, puhalluslevy taakse viiveaika, pöytä ylös viiveaika ja ampuaja. Arvot kunkin yrityksen sideaineille löytyvät taulukosta 2.

Taulukko 2. Röperwerk 2,5l –keernatykin valmistusparametrisarvot 4-X –kappaleelle.

	Hüttenes-Albertus	AWB	ASK Chemicals
Keernalaatikoiden säätölämpötila (°C)	220	210	240
Paistoaika (°C)	11	18	11
Oven aukioloaika (s)	2	2	2
Sulkupellin aukioloaika (s)	2	2	2
Ilmastusaika (s)	0,4	0,4	0,4
Puhalluslämpötila (°C)	200	200	140
Puhallusviive (°C)	1	1	1
Puhallusaika (°C)	1,5	1,5	1,5
Puhalluslevy taakse viiveaika (s)	0,5	0,5	0,5
Pöytä ylös viiveaika (s)	3,5	3,5	3,5

8.2 Keernan pinnanlaatu

Tavoitteena epäorgaanisilla sideaineseoksilla pinnanlaadullisesta näkökulmasta katsoen oli se, että keernan pinta on sileä, kova ja ettei keernan pinta varista lainkaan hiekkaa. Keernan rakenteellisten muotojen tuli myös olla riittävän tarkkarajaisia.

Hüttenes-Albertus:n sideaineilla valmistetut keernat olivat pinnanlaadultaan hyviä. Keernojen pinta oli riittävän kova ja sileä. Keernat eivät myöskään varistaneet pinnaltaan juuri lainkaan hiekkaa.

AWB:n sideaineilla valmistetut keernat olivat pinnanlaadultaan hyviä. Keernojen pinta oli riittävän kova ja sileä. Keernat eivät myöskään varistaneet pinnaltaan lainkaan hiekkaa.

ASK Chemicals:n sideaineilla valmistetut keernat olivat pinnanlaadultaan hyviä. Keernojen pinta oli riittävän kova ja sileä. Keernat eivät myöskään varistaneet pinnaltaan lainkaan hiekkaa.



Kuva 11. Epäorgaanisilla sideaineilla valmistettu 4-X –hanan keerna.

8.3 Kuivatusajat

Valmistuksen ohessa keernoilta mitattiin kuivatusajat. Kuivatusajat määrittävät kuinka kauan keernan tulee kuivua valmistamisen jälkeen, jotta se on riittävästi kovettunut sisäpuolelta. Vasta riittävän kovettumisen jälkeen keerna on valukelpoinen. Keernan kovettuminen saatiin selville menetelmällä, jossa keerna viilattiin rungon paksuimmasta kohdasta poikki. Tämän jälkeen keernan rungon keskeltä poistettiin varovasti pehmeä, ei kovettunut hiekka. Näin pystyttiin tarkastelemaan keernan ko-

vettuneen ulkoseinämän paksuuden muutosta. 4-X –keerna on valukelpoinen, kun sen ulkoseinä on kovettunut noin 8 mm.

Keernojen valmistumisen jälkeistä kovettumista tarkasteltiin seuraavin aikavälein: 0 min, 0,75 h, 1,5 h, 2 h, 3 h ja 4 h. 4-X –keernan rungon paksuuden säde on 23,9 mm. Keernan ulkoseinämän paksuudet edellä mainituilla aikaväleillä on ilmoitettu taulukossa 3.

Taulukko 3. 4-X –keernan seinämäpaksuuden muutokset.

	Ulkoseinämän paksuus (mm), virhetoleranssi $\pm 1,0\text{mm}$		
Aika	Hüttenes-Albertus	AWB	ASK Chemicals
0 min	7	9	9
0,75 h	10	12	12,5
1,5 h	14,5	14,5	16,5
2 h	15	15,5	18
3 h	17	18	Läpi kovettunut
4 h	20	21	Läpi kovettunut



Kuva 12. Halkaistuja 4-X –keernoja, joiden kuivatusaikoja on tarkasteltu.

8.4 Polttotestaus

Valosten sideainesillan murtuminen oli yksi tärkeimmistä tavoitteista epäorgaaniselle sideaineelle. Oikeilla sideainemäärillä ja valulämpötiloilla saadaan aikaan sideainesillan murtuminen, jolloin keerna romahtaa. Tätä romahtamista tarkasteltiin tekemällä keernoille polttotesti, jossa keernaa lämmitettiin polttouunissa eri lämpötiloissa. Keernojen romahtamista tarkasteltiin 400°C, 685°C ja 970°C lämpötiloissa. Keernoja lämmitettiin mainituissa lämpötiloissa 15 minuutin ajanjaksoissa. Lämmittämisen jälkeen keernojen annettiin jäähtyä ennen kuin sideainesillan murtumista ruvettiin tarkastelemaan.

Hüttenes-Albertuksen sideaineella valmistetut keernat murtuivat helposti 400°C lämpökäsittelyn seurauksena, mutta hiekan rakeet eivät kuitenkaan irronneet toisistaan toivotulla tavalla. 685°C -käsittelyllä keernat murenivat vaivattomasti ja 970°C -käsittelyllä sideainesilta oli murtunut toivotulla tavalla.

AWB:n sideaineella valmistetut keernat murtuivat helposti 400°C lämpökäsittelyn seurauksena ja keernahiekka mureni suhteellisen hyvin. 685°C -käsittelyllä keernat murenivat vaivattomasti ja 970°C -käsittelyllä sideainesilta oli murtunut toivotulla tavalla.

ASK Chemicalsin sideaineella valmistetut keernat murtuivat helposti 400°C lämpökäsittelyn seurauksena ja keernahiekka mureni suhteellisen hyvin. 685°C -käsittelyllä keernat murenivat vaivattomasti ja 970°C -käsittelyllä sideainesilta oli murtunut toivotulla tavalla.

8.5 Valu ja valoksien analyysi

Keernojen valmistuksen jälkeen keernat valettiin. Valukoneelle asetettiin 4-X – kappaleelle sopivat valuparametrit. Valusäätölämpötila oli 970°C, valupaine 340 *mbar* ja valuventtiili aika 12600 *ms*. Valokset tarkastettiin ensin silmämääräisesti valupisteellä ja tämän jälkeen vielä laadunvalvonnassa.

Hüttenes-Albertus:n 52 keernan koe-erästä 50 kappaletta todettiin valupisteellä hyväksytyiksi. Lopuissa kahdessa kappaleessa hylkäysyynä oli pintavirhe valoksessa. Saanto valusta oli 96%. Laadunvalvonnassa hyväksytyistä 50 kappaleesta 50 todettiin hyväksi ja saanto oli 100%.

AWB:n 48 keernan koe-erästä 43 kappaletta todettiin valupisteellä hyväksytyiksi. Lopuissa viidessä kappaleessa hylkäysyynä oli pintavirhe valoksessa. Saanto valusta oli 90%. Laadunvalvonnassa hyväksytyistä 43 kappaleesta 43 todettiin hyväksi ja saanto oli 100%.

ASK Chemicals:n 36 keernan koe-erästä 36 kappaletta todettiin valupisteellä hyväksytyiksi. Saanto valusta oli 100%. Laadunvalvonnassa hyväksytyistä 36 kappaleesta 36 todettiin hyväksi ja saanto oli 100%.



Kuva 13. 4-X –hanan valos. Yhdessä valoksessa on kaksi hanarunkoa.

8.6 Valoksien puhdistustulokset

Tarkastuksen jälkeen valoksista poistettiin valussa niiden sisälle jäänyt keernahiekka. Testattaessa epäorgaanisia sideaineita hiekan poistettavuuden helppous oli yksi tärkeimpiä tavoitteita. Puhdistus toteutettiin sinkopuhdistusmenetelmällä. Puhdistettavuutta tarkasteltiin myös ilman koneellista puhdistusmenetelmää naputellen kevyesti valoksen runkoon. Tavoitteena tällä menetelmällä oli, että hiekka poistuisi valoksesta suhteellisen vaivattomasti ja nähtäisiin, että hiekka olisi koostumukseltaan hyvin hienojakoista johtuen keernan sideainesillan rikkoutumisesta valuprosessin aikana.

Hüttenes Albertus:n sideaineilla valmistettujen keernojen puhdistettavuus oli erittäin hyvä. Hiekka saatiin poistettua täydellisesti valoksen sisältä. Myös käsin tehtävässä puhdistuksessa hiekka poistui valoksesta hyvin ja sideainesilta oli rikkoutunut toivottulla tavalla.

AWB:n sideaineilla valmistettujen keernojen puhdistettavuus oli erittäin hyvä. Hiekka saatiin poistettua täydellisesti valoksen sisältä. Myös käsin tehtävässä puhdistuk-

sessä hiekka poistui valoksesta hyvin ja sideainesilta oli rikkoutunut toivotulla tavalla.

ASK Chemicals:n sideaineilla valmistettujen keernojen puhdistettavuus oli hyvä. Koneellisessa puhdistuksessa hiekka saatiin poistettua täydellisesti valoksen sisältä. Käsillä tehtävässä puhdistuksessa hiekka ei poistunut aivan yhtä hyvin kuin koneellisesti tehdyssä puhdistuksessa.

8.7 Koneistuksen jälkeinen tarkistus

Puhdistuksen jälkeen keernat koneistettiin. Tämän jälkeen koneistetut valokset vietiin takaisin laadunvalvontaan, jossa tarkastettiin valoksien sisäpuoli.

Hüttenes-Albertus:n sideaineilla valmistetuista 50 koneistetusta kappaleesta 13 todettiin hyväksi. Lopuissa 37 kappaleessa todettiin imuvirheitä sisärungon ja juoksuputken yhdistyskohdassa sekä valoksen nokassa. Imuvirheet näkyivät valosten rungoissa pieninä reikinä. Myös osassa hyväksytyistä kappaleista esiintyi pientä imua samaisissa paikoissa, mutta virheet pysyivät toleranssien sisäpuolella. Saanto koneistuksesta oli 35%. Runsaat imuvirheet eivät johtuneet sideaineesta vaan keernalaatikon vääränlaisesta konstruktioista.

AWB:n sideaineilla valmistetuista 43 koneistetusta kappaleesta 38 todettiin hyväksi. Lopuissa viidessä kappaleessa todettiin imuvirheitä sisärungon ja juoksuputken yhdistyskohdassa sekä valoksen nokassa. Myös lähes kaikissa hyväksytyissä kappaleissa esiintyi pientä imua samaisissa paikoissa, mutta virheet pysyivät toleranssien sisäpuolella. Saanto koneistuksesta oli 88%. Runsaat imuvirheet eivät johtuneet sideaineesta vaan keernalaatikon vääränlaisesta konstruktioista.

ASK Chemicals:n sideaineilla valmistetuista 36 koneistetusta kappaleesta 3 todettiin hyväksi. Lopuissa 33 kappaleessa todettiin imuvirheitä sisärungon ja juoksuputken yhdistyskohdassa sekä valoksen nokassa. Nämä imuvirheet näkyivät valosten rungoissa pieninä reikinä. Myös osassa hyväksytyistä kappaleista esiintyi pientä imua samaisissa paikoissa, mutta virheet pysyivät virhetoleranssien sisäpuolella. Saanto ko-

neistuksesta oli 8%. Runsaat imuvirheet eivät johtuneet sideaineesta vaan keernalaattikon vääränlaisesta konstruktioista.



Kuva 14. Halkaistu 4-X –valos. Valussa syntynyt imuvirhe on aiheuttanut reiän sisärungon ja juoksuputken yhdistyskohtaan.



Kuva 15. Imuvirhe on aiheuttanut reiän valoksen nokkaan.

9 KUSTANNUSLASKENTA

Keernanvalmistuksen vuosittainen budjetti syntyy tarveaineiden eli hiekan ja sideaineiden yhteiskustannuksista sekä valmistukseen käytettävän laitteiston käyttökustannuksista. Seuraavissa laskelmissa on laskettu nykyisen keernanvalmistusmenetelmän vuosibudjetti sekä kolmen vaihtoehtoisen epäorgaanisen sideaineseoksen vuosikustannusarviot. Sideainekustannusten lisäksi laskettiin keernatykin käyttökustannukset nykyisessä tuotannossa sekä epäorgaanisessa tuotannossa.

9.1 Tarveaineiden kustannukset

9.1.1 Nykyisen hot-box –menetelmän sideainekustannukset

Hiekan lisäksi tällä hetkellä käytössä olevassa orgaanisessa hot-box -tuotannossa käytetään kolmea eri sideainetta, Thermoset 2000:a, Haerter AT 20:a ja Trennmittel 7828:a. Näistä neljästä osatekijästä koostuu Oras Oy:n vuotuinen tarveaineiden budjetti.

Taulukko 3. Sideaineiden kustannusarvio vuodelle 2012 käytettäessä nykyisiä orgaanisia sideaineita. (Kustannusarvio salaista materiaalia.)

9.1.2 Hüttenes-Albertus

Hüttenes-Albertus:n tarjoama sideaineseos koostui reseptiltään hiekan lisäksi kahdesta eri aineosasta, Cordis-8593:sta ja AnOrgit-8610:sta. Sideaineiden kulutusmäärät oli laskettu 30 *kg*:n hiekkaeriä kohden.

Taulukko 4. Sideaineiden kustannusarvio vuodelle 2012 käytettäessä Hüttenes-Albertus:n sideaineita. (Kustannusarvio salaista materiaalia.)

9.1.3 AWB

AWB:n tarjoama sideaineseos koostui reseptiltään hiekan lisäksi kolmesta eri aineosasta, IKO-WB-OR 9 A2:sta, IKO WB-A006:sta ja 32% NaOH:sta. Sideaineiden kulutusmäärät oli laskettu 30 *kg*:n hiekkaeriä kohden.

100% NaOH:n myyntihinta on 0,498 €/kg. NaOH laimennetaan 32 prosenttiseksi Oraksella. Tällöin 32% NaOH:n kilohinnaksi saadaan

$$\Rightarrow 0,498 \text{ €/kg} \times 0,32 = 0,159 \text{ €/kg}$$

Taulukko 5. Sideaineiden kustannusarvio vuodelle 2012 käytettäessä AWB:n sideaineita. (Kustannusarvio salaista materiaalia.)

9.1.4 ASK Chemicals

ASK Chemicals:n tarjoama sideaineseos koostui reseptiltään hiekan lisäksi kolmesta eri aineosasta, Inotec HC 2000:sta, Inotec Promotor EP 4220:sta ja Inomin GS:sta. Sideaineiden kulutusmäärät oli laskettu 30 kg:n hiekkaeria kohden.

Taulukko 6. Sideaineiden kustannusarvio vuodelle 2012 käytettäessä ASK Chemicals:n sideaineita. (Kustannusarvio salaista materiaalia.)

9.2 Käyttökustannukset

Keernan valmistukseen käytettävän laitteiston käyttökustannukset koostuvat keernatykin keernalaatikoiden lämmittämisestä. Kustannuksia laskettaessa tulee huomioida keernalaatikoiden lämmitysteho, lämmitysaika ja sähkön hinta. /17/

9.2.1 Nykyiset käyttökustannukset

Taulukko 7. Keernatykin sähkönkulutuksen kustannusarvio vuodelle 2012 käytettäessä orgaanisia sideaineita.

Lämmityskustannuksiin vaikuttavat muuttujat:		
Lämmitysteho:	7 kW	
Lämmitysaika:	8 h/vuoro	
Sähkön hinta:	5,5 snt/kWh	
Keernalaatikoiden lkm/keernatykki:	2	
Keernatykin sähkönkulutus yhdessä vuorossa:		
$\Rightarrow 2 \times (7 \text{ kW} \times 8 \text{ h}) = 112 \text{ kWh}$		
Keernatykin vuosittainen sähkönkulutus: (Seuraavissa laskelmissa keernatykkiä käytetään 8 h/työpäivä. Vuonna 2012 on 250 työpäivää.)		
$\Rightarrow 250 \times 112 \text{ kWh} = 28000 \text{ kWh}$		

Keernatykin sähkönkulutuksen kustannusarvio vuodelle 2012 käytettäessä orgaanisia sideaineita:	
⇒	$28000 \text{ kWh} \times 5,5 \text{ snt/kWh} = 154000 \text{ snt}$
⇒	<u>1540 €</u>

9.2.2 Käyttökustannukset käytettäessä epäorganisia sideaineita

Koska ajolämpötilat ovat pienempiä orgaanisessa tuotannossa kuin epäorgaanisessa, myös käyttökustannukset laskevat. Kustannuslaskelma on tehty tuotteelle 4-X. 4-X:n ajolämpötila on orgaanisessa tuotannossa 290°C ja epäorgaanisessa sideaineesta riippuen noin 210°C.

Taulukko 8. Keernatykin sähkönkulutuksen kustannusarvio vuodelle 2012 käytettäessä epäorganisia sideaineita.

Lämpötilan prosentuaalinen lasku:	
⇒	$\frac{210 \text{ °C}}{290 \text{ °C}} = 0,724$
⇒	$1 - 0,724 = 0,276$
⇒	27,6%
Keernatykin sähkönkulutuksen kustannusarvio vuodelle 2012 käytettäessä epäorganisia sideaineita:	
⇒	$0,724 \times 1540 \text{ €}$
⇒	<u>1114,96 €</u>

10 SIDEAINEIDEN KESKINÄINEN VERTAILUANALYYSI

Sideainetutkimusten jälkeen tuli analysoida tutkimustuloksia sekä muita tekijöitä, jotka oleellisesti tulisivat vaikuttamaan sideaineseoksen valintaan. Jotta paras ja toi-

mivin sideaineseos löydettäisiin ottaen huomioon kaikki näkökannat, päätin laatia pisteytyskaavion, jossa jokainen loppupäätökseen vaikuttava ominaisuus arvioitaisiin pistemäärällä 1-5. Tämän pisteytyksen lisäksi jollain ominaisuudella on painokerroin 2. Kahden painoarvo kaksinkertaistaa annetun pistemäärän ja tällä painoarvolla korostetaan hyvin tärkeää ominaisuutta. Arvioitavia ominaisuuksia olivat keernahiekan sekoittaminen, keernanvalmistuksen ajolämpötilat ja tahtiajat, keernan pinnanlaatu, keernahiekan haju, keernan kuivumisajat, keernan käyttäytyminen valussa, keernahiekan poistettavuus valoksen sisältä ja kustannukset. Ominaisuudet nähdään pisteytyksineen taulukossa 9.

Taulukko 9. Epäorgaanisten sideaineiden arvostelutaulukko.

Pisteytyksen nimellinen arvosana: 1= Huono 2= Heikko 3=Välttävä 4=hyvä 5=Erinomainen		Painokerroin	Hüttenes-Albertus	AWB	ASK Chemicals
1	Keernahiekan sekoittaminen	2	2	5	2
2	Ajolämpötilat ja tahtiajat	1	3	3	4
3	Keernan pinnanlaatu	1	3	4	4
4	Keernahiekan haju	2	5	5	5
5	Keernan kuivumisajat	1	5	5	5
6	Keernan käyttäytyminen valussa	1	2	2	2
7	Keernahiekan poistettavuus valoksen sisältä	2	3	4	3
8	Kustannukset		Salainen	Salainen	Salainen
		Yhteensä:			

Keernahiekan sekoitettavuuteen helppous määräytyi sideaineiden koostumusten mukaan. Oraksen sideaineannostelujärjestelmälle nestemäiset sideaineet soveltuivat huomatta vasti paremmin kuin jauhemaisessa muodossa olevat. Tästä syystä AWB:n tarjoama sideaineseos oli huomattavasti muita sideaineita toimivampi.

Ajolämpötilojen ja tahtiaikojen pisteytys määrittyi verraten epäorgaanisilla sideaineilla valmistettujen keernojen tahtiaikoja ja ajolämpötiloja vastaaviin orgaanisiin menetelmien valmistettujen keernojen arvoihin. Tahtiajat olivat lähes samaa luokkaa orgaanisen tuotannon kanssa, mutta ajolämpötilat huomattavasti alhaisempia.

Epäorgaanisten keernojen pinnanlaatua verrattiin myös orgaanisesti valmistettuihin keernoihin. Tekijät, jotka vaikuttivat pisteytykseen olivat pinnan kovuus ja hiekan varistavuus keernan pinnasta.

Keernan haju määräytyi sen mukaan kuinka paljon keerna kärytti. Kaikkien kolmen tarjoajan sideaineet toimivat tässä suhteessa erinomaisesti. Keernat eivät käryttäneet lainkaan.

Orgaanisten keernojen kuivumisajat ovat paljon suurempia kuin epäorgaanisten. Testeissä jokaisen tarjoajan keernat läpikovettuivat reilussa neljässä tunnissa, kun orgaanisilla sideaineilla valmistetut keernat tarvitsevat usean päivän kuivumisajan. Kaikki sideaineet toimivat myös erinomaisesti tarkasteltaessa keernojen kuivumisia.

Valukäyttäytyminen piti sisällään sen, syntyikö valoksiin valussa pintavirheitä, halkeamia tai imuvirheitä. Jokaisen kolmen testierän valoksissa oli imuvirheitä valoksen sisällä. Virheet eivät kuitenkaan johtuneet sideaineiden vääränlaisesta koostumuksesta vaan keernalaatikon vääränlaisesta konstruktiosta.

Hiekan poistettavuuden helppouden pisteytys määräytyi koneellisen ja käsin tehtävän puhdistuksen yhteisarvioon.

Kustannuksia arvioidessa verrattiin sideaineiden kustannusarvioita nykyiseen vuosikustannusbudjettiin.

Edellä mainitut pisteytystuloksen perustuvat omakohtaisiin kokemuksiin ja näin ollen pisteytys on täysin subjektiivinen. Taulukon tehtävänä onkin antaa suuntaa-antava kuva jokaisen sideaineseoksen toimivuudesta tietyllä osa-alueella.

11 YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli löytää nykyisen keernanvalmistuksessa käytettävän sideaineen tilalle uusi epäorgaaninen vaihtoehto. Tämän lisäksi tarkoituksena oli selvittää, mitä mekaanisia ja elektronisia muutoksia sekä muita huomioon otettavia asioita muutos epäorgaaniseen valmistusmenetelmään edellyttää.

Epäorgaaniset sideaineiden tarjoajat rajattiin kolmeen eri vaihtoehtoon, Hüttenes-Albertus:een, AWB:een ja ASK Chemicals:iin. Pinnanlaadultaan ja valuominaisuuksiltaan sideaineet toimivat lähes yhtä hyvin keskenään. Suurimmiksi vaikuttaviksi tekijöiksi päätöstä tehtäessä nousivat sideaineiden rakenteelliset koostumukset ja kustannukset.

Sideaineiden koostumukset vaikuttivat suuresti –aineiden keernahiekan sekoittamisen helppouteen. Kokonaan nestemäiset sideaineet sopivat tällä hetkellä Oraksen keernahiekan valmistusta säätelevälle laitteistolle paremmin, kuin osaksi jauhemaiset vaihtoehdot. Tämä johtuu siitä, että nykyinen sideaineiden annostelujärjestelmä on suunniteltu nestemäisille sideaineille. Osaksi jauhemaisen sideaineen käyttöönotto edellyttäisi tällä hetkellä sideaineen annostelujärjestelmään liittyen kehitystyön aloittamista. Suosittelisin sideaineille tehtävän myös ilmankosteustesti, jossa selvitetäisiin onko ilmankosteuden prosentuaalisella nousulla vaikutusta keernan rakenteeseen tai pinnanlaatuun. Tämä testi ei aikataulullisista syistä johtuen mahtunut mukaan tähän opinnäytetyöhön.

Sideainekustannukset nousivat koostumusten ohella yhdeksi oleellisimmaksi tekijäksi valintaa tehtäessä.

Tutkimusten, suunnittelun ja kustannusten perusteella voi todeta, että Oraksella on hyvät edellytykset siirtyä tulevaisuudessa kokonaan epäorgaaniseen keernantuotantoon. Sideainetutkimusten perusteella sideaineilla ei toimivuuden kannalta ole suurta eroa. Päätökset valittavasta ja käyttöönotettavista sideaineesta ja muista tuotteista jäivät Oras Oy:n päätettäväksi.

LÄHTEET

1. Oras Oy. Yritys. [internet-sivut]. Viitattu 29.3.2012. Saatavissa: <http://www.oras.com/FI/CONSUMER/COMPANY/Pages/Oras.aspx>
2. ValuAtlas. Hiekkavalimon valimoprosessi. [internet-sivut]. Viitattu 29.3.2012. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valimoprosessi/index.html>
3. ASK Chemicals. Laboratory Report, Sand Test INOTEC for ORAS. 30.9.2011.
4. ValuAtlas. Valimotekniikan perusteet. Keernanvalmistus. [internet-sivut]. Viitattu 29.3.2012. Saatavissa: http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/vtp_menet_keernanvalm.pdf
5. Oras Oy. Yrityspresentaatio. Hanatehdas. 11.12.2009. Yrityksen sisäinen tietokanta.
6. University of Duisburg-Essen. Einsatz anorganischer Binder in der neuen Kokillengießerei der MWS. Kesäkuu 2008. [internet-sivut]. Viitattu 29.3.2012. Saatavissa: http://www.uni-due.de/imperia/md/content/giessereitechnik/einsatz_anorganischer_binder_in_der_neuen_kokillengie_erei_der_mws_castings.pdf
7. Database of Steel and Alloy. S355J0. [internet-sivut]. Viitattu 29.3.2012. Saatavissa: http://www.splav.kharkov.com/steelgrade/mat_start_eu.php?name_id=2
8. Meca-Trade Oy. Käyttöturvallisuustiedote (01/58/EY). ACMOS-118-95. 5.12.2005.
9. SPEFORM Metall-Chemie GmbH Safety data sheet according to 1907/2006/EC, Article 31. SPEFAT 6022. 31.8.2011.
10. HÜTTENES-ALBERTUS, Chemische Werke GmbH. Safety data sheet according to 1907/2006/EC, Article 31. CORDIS 8593. 26.7.2010.
11. HÜTTENES-ALBERTUS, Chemische Werke GmbH. Safety data sheet according to 1907/2006/EC, Article 31. ANORGIT 8610. 17.12.2009.
12. S&B Industrial Minerals GmbH. Material Safety Data Sheet according to EG nr. 1907/2006. IKO-WB-OR 9 A2. 5.1.2012.

13. S&B Industrial Minerals GmbH. Material Safety Data Sheet according to EC Directive 1907/2006. IKO-WB A006. 3.11.2011.
14. Työterveyslaitos. OVA-ohje, natriumhydroksidi. [internet-sivut]. Viitattu 29.3.2012. Saatavissa: <http://www.ttl.fi/ova/naoh.html>
15. ASK Chemicals Scandinavia AB. Säkerhetsdatablad. INOTEC HC 2000. 27.10.2011.
16. ASK Chemicals Scandinavia AB. Säkerhetsdatablad. Inotec Promotor RB 1000. 27.10.2011.
17. Tuominen, M. 2012. Oras Oy. Haastattelu. Maaliskuu 2012.